



P 8 0 2 4 5 7 1

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 195 25 754 A 1

⑤1 Int. Cl. 6: *Feb*
A 62 D 3/00
B 01 J 19/08
B 01 D 53/00
H 05 H 1/48
F 01 N 3/08

②1 Aktenzeichen: 195 25 754.5
②2 Anmeldetag: 14. 7. 95
④3 Offenlegungstag: 18. 1. 97

DE 195 25 754 A 1

⑦1 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

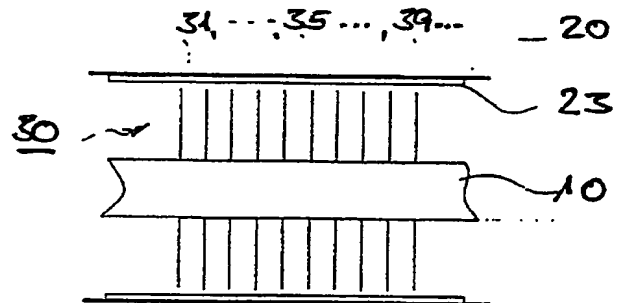
⑦2 Erfinder:
Seeböck, Robert, Dipl.-Phys. Dr., 91088 Bubenreuth, DE; Branston, David Walter, Dr., 91090 Effeltrich, DE; Kieser, Jörg, Dipl.-Phys. Dr., 91301 Forchheim, DE; Römheld, Michael, Dipl.-Phys. Dr., 91080 Uttenreuth, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 43 02 485 C1
DE-AS 10 02 292
DE 44 26 081 A1
DE 43 17 964 A1
DE 42 31 581 A1
DE 40 12 458 A1
DE 31 20 793 A1
US 50 61 462
US 46 57 738
EP 6 02 510 A1
WO 88 08 325 A1

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zur plasmachemischen Zersetzung und/oder Vernichtung von Schadstoffen

⑤7 Es wurde bereits vorgeschlagen, beispielsweise zur Abgasreinigung von Verbrennungsmotoren die Schadstoffe als Schadstoffstrom eine mit dielektrisch behinderten ("stillen") Entladungen beaufschlagte Strecke in mit einem Reaktorvolumen durchlaufen zu lassen. Gemäß der Erfindung wird die Entladung in einer räumlich periodischen Struktur betrieben, bei der das gesamte Reaktorvolumen in axialer Richtung in Entladungszonen einerseits und entladungsfreie Zonen andererseits unterteilt ist. Bei der zugehörigen Vorrichtung mit einer vorzugsweise coaxialen Elektrodenanordnung aus wenigstens einer ersten dielektrisch beschichteten Elektrode und einer zweiten Elektrode als Gegenelektrode hat die Gegenelektrode (1, 10) Mittel (30, 40, 50) zur in axialer Richtung periodischen lokalen Feldüberhöhung.



DE 195 25 754 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 11. 96 802 063/423

9/28

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur plasmachemischen Zersetzung und/oder Vernichtung von Schadstoffen, insbesondere zur Abgasreinigung von Verbrennungsmotoren oder anderen mit fossilem Treibstoff betriebenen Maschinen, wobei die Schadstoffe als Volumenstrom eine Strecke in einem Reaktor durchlaufen, der mit dielektrisch behinderten ("stillen") Entladungen beaufschlagt wird. Daneben bezieht sich die Erfindung auch auf die zugehörige Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, mit einer Elektrodenanordnung für eine dielektrisch behinderte Entladung, die zwischen wenigstens einer ersten, dielektrisch beschichtete Elektrode und einer zweiten Elektrode als Gegenelektrode durch Anlegen einer Hochspannung vorgegebener Frequenz entsteht.

Die direkte Abgasnachbehandlung in dielektrisch behinderten Gasentladungen, die auch als Barriereentladungen bezeichnet werden, ist ein vielversprechender Weg zum Bau von Schadstoffminderungselementen, welche eine Verminderung der Emission gesundheitsschädlicher Abgase erlauben. Dabei können die Abgase sowohl von stationären Anlagen als auch insbesondere von mobil betriebenen Verbrennungskraftmaschinen, wie Ottomotoren, Dieselmotoren, Zweitaktmotoren, aber auch Flugzeugtriebwerken oder Raketentriebwerken, emittiert werden. Ein solches Verfahren und eine zugehörige Vorrichtung ist aus der DE-A-42 31 581 vorbekannt.

Der Betrieb eines Abgasminderungselementes im Abgasstrang eines mobilen Fahrzeuges, Schiffes oder Flugkörpers erfordert zusätzliche Leistung, welche von der Kraftmaschine aufgebracht werden muß. Die zusätzlich benötigte Leistung führt zu einem zusätzlichen Kraftstoffverbrauch.

Beim mobilen Einsatz bieten speziell Dieselmotoren gegenüber Ottomotoren den Vorteil eines um 10 bis 15% geringeren Kraftstoffverbrauches pro abgegebener mechanischer Kilowattstunde. Allerdings erlauben Dieselmotoren nicht den Einsatz geregelter Dreiwegekatalysatoren wie beim Ottomotor, wodurch sie einen gegenüber Ottomotoren mit Katalysator deutlich höheren Ausstoß an NO_x haben. Die Nachbehandlung dieses NO_x-Anteils muß daher beim Dieselmotor energetisch so effizient vorgenommen werden, daß der Vorteil im Kraftstoffverbrauch möglichst wenig geschmälert wird. Dies bedeutet, daß bei Verwendung von Abgasminderungselementen nach dem Prinzip der dielektrisch behinderten Entladung der Wirkungsgrad deutlich verbessert werden muß.

Aus der DE-A-43 17 964 ist weiterhin eine Einrichtung zur plasmachemischen Bearbeitung von Schadstoffen bekannt, bei der bei Durchlaufen eines Schadstoffstromes durch die Barriereentladung das Produkt p·d an die Aktivierungsenergie der gewünschten chemischen Reaktionen anpaßbar ist und räumlich und/oder zeitlich unterschiedliche Werte annimmt, wobei p der Gasdruck im Reaktorvolumen und d die sogenannte Schlagweite ist. Konkret bedeutet dies für eine diesbezügliche Vorrichtung, daß die Elektroden und/oder der dielektrische Körper ein Entladungsgefäß mit lokal unterschiedlichen Schlagweiten bilden.

Aufgabe der Erfindung ist es demgegenüber, Maßnahmen für die Praxis vorzuschlagen, mit denen der Energieeinsatz für die dielektrisch behinderte Entladung, insbesondere für die Zersetzung eines NO-Moleküls, deutlich reduziert werden kann.

Die Aufgabe ist erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Entladung in einer räumlich periodischen Struktur betrieben wird, bei der das gesamte Reaktorvolumen in Axialrichtung in Entladungszonen einerseits und entladungsfreie Zonen andererseits unterteilt ist, die zu einer Erhöhung der bei der Entladung wirksamen Elektronenenergie führen. Vorteilhafterweise erfolgt dabei die Entladung im Frequenzbereich von ≈ 1 kHz bis zu einigen 100 kHz. Durch eine solche Auswahl der Entladungsfrequenz wird sichergestellt, daß hinreichend dicht liegende benachbarte Volumenelemente im Schadstoffstrom behandelt werden. Außerdem wird damit erreicht, daß ein in einem Zyklus einmal behandeltes Volumenelement des Schadstoffstromes hinreichend lange Zeit bekommt, um die durch die Entladung erzeugten Radikale weitestgehend abreagieren zu lassen. Wenn eine Strömungsgeschwindigkeit des Schadstoffstromes im Reaktorgefäß vorgegeben ist, können für die Strömungsgeschwindigkeit des Schadstoffstromes und der Entladungsfrequenz einerseits und der räumlichen Periodizität der Entladungsstruktur andererseits Beziehungen abgeleitet werden, die eine Optimierung bei der Dimensionierung des Reaktors erlauben.

Bei der zugehörigen Vorrichtung der eingangs genannten Art weist insbesondere die eine Elektrode Spitzen zur Feldüberhöhung auf, die in Längsrichtung des Reaktorvolumens periodisch sind. Letzteres läßt sich bei Vorliegen einer Zylindersymmetrie mit einer zylinderartigen Außenelektrode als einer Elektrode und einer zylinderförmigen inneren Elektrode als Gegenelektrode dadurch realisieren, daß die innere Elektrode in Längsrichtung mit scharfkantigen Scheiben besetzt ist. Ebenso können an der hohlzylindrigen Außenelektrode Scheibenringe nach innen angeordnet sein. Bei einem hohlzylindrigen Aufbau des Reaktors können aber auch zur geeigneten Feldstärkenerhöhung beispielsweise fortlaufende Bänder mit scharfen Kanten, metallische Borsten oder auch stacheldrahtartige Gebilde mit entsprechenden Spitzen auf einer der Elektroden aufgebracht sein.

Mit der Erfindung wird das Problem eines zu hohen Energieeinsatzes bei der dielektrisch behinderten Entladung im wesentlichen durch zwei Maßnahmen gelöst: Einerseits wird eine Erhöhung der mittleren Energie der Elektronen in der Entladung erreicht, wozu die geeignete Formgebung der Elektroden Voraussetzung ist. Andererseits wird aber eine im Sinne der Plasmachemie optimale Umsetzung der mit der Entladung eingekoppelten Energie in die erwünschten Prozesse erreicht.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus nachfolgender Figurenbeschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung. Es zeigen

Fig. 1 ein Diagramm zur Verdeutlichung des physikalisch-chemischen Ausgangspunktes bei der Barriereentladung,

Fig. 2 ein Modell einer dielektrisch behinderten Entladung in einem Volumenstrom und die Fig. 3 bis 5 unterschiedliche Ausführungsformen von neuen Reaktoren zur Abgasminderung mittels dielektrisch behinderter Entladung.

Die Figuren werden teilweise gemeinsam beschrieben. Insbesondere bei den Ausführungsbeispielen gemäß den Fig. 3 bis 5 ist als Ausgangspunkt jeweils eine koaxiale Struktur gewählt. Es sind jedoch ebenso planare oder andere geometrische Auslegungsformen möglich, wie es insbesondere in Fig. 2 angedeutet ist, in der Grundlagen für eine dielektrisch behinderte Entladung

verdeutlicht werden. Letztere wird auch als "stille" Entladung oder Barriereentladung bezeichnet.

Im Diagramm gemäß Fig. 1 ist als Ergebnis von Simulationsrechnungen die Konzentration von NO_x-Gasbestandteilen ($x = 1, 2$) eines Abgases, das eine Strecke mit dielektrisch behinderten Entladungen durchläuft, als Funktion der Zeit dargestellt. Insbesondere interessiert der Verlauf der Konzentration von NO. Anhand Fig. 1 kann die Entwicklung der Konzentrationen der Endprodukte über fünfzehn Entladungszyklen bei einer dielektrisch behinderten Entladung verfolgt werden: Die zeitliche Aufeinanderfolge der Entladungszyklen wird durch die Frequenz der angelegten Wechselspannung bestimmt. Sie ist so zu wählen, daß ein im Reaktor als Schadstoffstrom durchströmt es Volumenelement in passender Zeit erneut behandelt wird.

Aus den Kurven ist zu entnehmen, daß insbesondere die am Abbau des NO beteiligten Radikale eine bestimmte Zeit brauchen, bis sie vollständig abreagiert haben. Entsprechend wird nach jedem Entladungsimpuls zunächst ein kurzer Anstieg in der NO-Dichte beobachtet, welcher einer zusätzlichen schnellen NO-Erzeugung entspricht, und danach eine langsame Abnahme unter den Ausgangswert durch die langsame Reaktion mit ebenfalls erzeugten Radikalen. Erst nach etwa 200 µs haben alle erzeugten Radikale abreagiert. Um sicherzustellen, daß während dieser Zeit keine erneute Anregung stattfindet, wäre dieser Darstellung zu entnehmen, daß an sich die Frequenz bei harmonischer Anregung nicht über 2,5 kHz, bei pulsformiger Anregung nicht über 5 kHz liegen sollte. Der Wert von 200 µs ist dabei charakteristisch für die Reaktionskinetik von NO im Beisein von Wasser und kann für andere Reaktionen unterschiedlich sein. Weiter unten wird verdeutlicht, daß bei einer Geometrie gemäß den Fig. 3 bis 5 erfindungsgemäß auch mit höheren Frequenzen gearbeitet werden kann.

In Fig. 2 ist das Prinzip der dielektrisch behinderten Entladung schematisch dargestellt und dient zur Definition der nachfolgend verwendeten Begriffe. Eine Metallelektrode 1 ist im vorgegebenen Abstand von einer Gegenelektrode 2 angeordnet, welche mit einem Dielektrikum 3 beschichtet ist. Dabei bedeuten d_e die Dicke der Schicht des Dielektrikums und d_{gap} der Abstand der Oberfläche des Dielektrikums 3 von der Metallelektrode 1. Die Elektroden 1 und 2 sind über eine Wechselspannungsquelle 5 für Hochspannung miteinander verbunden.

Zwischen den beiden Elektroden 1 und 2 mit 3 ist beispielhaft ein einzelnes Entladungsfilament 4 einer dielektrisch behinderten Entladung dargestellt, das geometrisch als zylindrischer Plasmakanal mit Durchmesser d_k bezeichnet ist, der von einem Fußpunkt auf dem Dielektrikum 3 mit Durchmesser d_f zur gegenüberliegenden Metallelektrode 1 reicht. Letzterer Abstand begrenzt die Anzahl nebeneinanderliegender Filamente 4, 4', ... Dabei ist p_f die mittlere Flächendichte aller Entladungsfilamente 4 in einer Periode T, die sich aus der Zahl der Filamente in einer Periode dividiert durch die Elektrodenfläche des Reaktors ergibt. Es kann davon ausgegangen werden, daß die Filamente gleichmäßig über die Reaktorfläche verteilt sind, daß also keine Strukturen oder Gedächtniseffekte vorhanden sind, die das Wiederzünden in immer den gleichen Bereichen der Reaktoroberfläche begünstigen. Die Folge davon ist, daß sich ein mit konstanter Strömungsgeschwindigkeit v_{gas} bewegendes Gasvolumenelement der Querschnittsfläche A_k mit der Wahrscheinlichkeit $w_f = p_f \cdot A_k$ inner-

halb der nächsten Periode T der anregenden Spannung wieder von einem Entladungsfilament getroffen wird. Die Fläche des Filamentes 5 ist dabei durch $A_k = d_k^2 \cdot \pi/4$ gegeben. Die mittlere Zeit τ , nach der ein Filament 4 dann wieder getroffen wird, ergibt sich daraus zu

$$\tau = T / \ln[(1 - w_f)^{-1}].$$

Da im allgemeinen w_f sehr viel kleiner als 1 gilt, folgt $\tau \approx T/w_f$, wobei in jedem Fall $\tau > T$ gilt. Die Periode der anregenden Spannung stellt also eine Untergrenze für die erneute Anregung eines Volumenelementes dar.

In den Fig. 3 bis 5 bedeuten jeweils 20 eine hohlzylindrische Elektrode, die ein Reaktorvolumen umgeben und auf der Innenseite mit einer dielektrischen Schicht 23 versehen sind. Mit 10 ist in allen Fällen eine zylindrische metallische Innenelektrode in der Achse des Hohlzylinders 20 bezeichnet.

In den Fig. 3 bis 5 sind jeweils in periodischer Anordnung metallische Elemente vorhanden, die aufgrund ihrer Formgebung in bestimmten Bereichen des Reaktorvolumens eine drastische Feldüberhöhung gegenüber der in Fig. 2 dargestellten Geometrie sicherstellt. Dadurch werden höhere Elektronenenergien während der Zündung von Gasentladungen erreicht.

Im einzelnen besteht in Fig. 3 eine solche Anordnung 30 aus einer Anzahl von scharfkantigen Scheiben 31, 32, ..., die auf dem Zylinder der inneren Elektrode 10 aufgesetzt sind und mit ihren scharfen Außenkanten auf die mit dem Dielektrikum 23 belegten zylindrischen Außenelektrode 20 gerichtet sind. Zwischen den Außenkanten der Scheiben 31, 32, ... und der Außenelektrode 20 mit Dielektrikum 23 finden die Entladungen statt. Statt mit einzelnen Scheiben könnte die zylindrische Innenelektrode 10 auch mit einem schraubenförmig fort laufenden Band besetzt sein.

In der Fig. 4 befindet sich auf der Zylinderelektrode 10 eine Anordnung 40 in Form einer metallischen Zylinderbürste, wobei die Borsten 41, 42, ... entweder gleichmäßig oder büschelförmig in bestimmter periodischer Struktur angebracht sein können.

In Fig. 5 werden dagegen die Spitzen zur Feldüberhöhung aus einem stacheldrahtähnlichen Gebilde 50 realisiert, das entweder die Achse der Anordnung bildet oder auf einer in der Achse liegenden Wickelkörper schraubenförmig aufgerollt ist und jeweils im periodischen Abstand Stacheln 51, 52, ... in Richtung auf die Zylinderwandung 20 mit Dielektrikum 23 haben.

Die Borsten 41, 42, ... sowie die Stacheln 51, 52, ... gemäß den Fig. 4 bzw. 5 haben gegenüber den Schneiden der Scheiben 31, 32, ... der Fig. 3 den Vorteil einer näherungsweise Nulldimensionalität, was einer stärkeren Abhängigkeit der Überhöhung des elektrischen Feldes vom Verrundungsradius verglichen mit einer linearen Schneide zur Folge hat. Zwischen den Kanten der Schneiden 31, 32, ... sowie den Spitzen der Borsten 41, 42, ... und der Stacheln 51, 52, ... und dem Dielektrikum 23 der hohlzylindrischen Gegenelektrode 20 liegt üblicherweise ein Abstand von 0,5 bis zu einigen Millimetern. Geeignet ist beispielsweise ein Wert zwischen 1 und 3 mm. Der Verrundungsradius liegt dagegen im Bereich von 0,1 mm. Mit einer solchen Anordnung wird der Effekt der erhöhten Elektronenenergie optimiert.

Durch den relativ schmalen Entladungsspalt ist der Massendurchsatz begrenzt. Es kann günstig sein, zum Erreichen höherer Durchsätze mehrerer der in Fig. 3 bis 5 dargestellten Anordnungen parallel zu schalten.

Mit einer Anordnung gemäß einer der Fig. 3 bis 5

wird erreicht, daß periodisch jeweils Entladungszonen mit entladungsfreien Zonen abwechseln. Bei vorgegebenem Volumenstrom des Schadstoffstromes wird angestrebt, daß alle hinreichend dicht benachbart liegende Volumenelemente im Schadstoffstrom behandelt werden. Dabei wird die Frequenz so gewählt, daß ein in einem Zyklus einmal behandeltes Volumenelement des Schadstoffstromes hinreichend lange Zeit bekommt, um die durch die Entladung erzeugten Radikale weitestgehend abreagieren zu lassen. Angestrebt wird, daß die Radikale vollständig abreagieren.

Es hat sich gezeigt, daß eine geeignete Frequenz zum Erreichen des vorgenannten Ergebnisses im Bereich von etwa 1 kHz bis zu einigen 100 kHz liegt, sofern von der in den Fig. 3 bis 5 dargestellten periodischen Struktur ausgegangen wird.

Beispielsweise ist in der Fig. 3 der Abstand x benachbarter Scheiben 31, 32 so gewählt, daß

$$x/v_{\text{gas}} \geq 200 \mu\text{s}$$

gilt. Insbesondere kann in verallgemeinerter Form unter Ansatz eines Sicherheitsfaktors n

$$x/v_{\text{gas}} = n 200 \mu\text{s}$$

geschrieben werden, wobei n eine natürliche Zahl zwischen 1 und 5 ist. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die an den Schneiden 31, 32, ... lokalisierten Entladungszonen eine endliche Ausdehnung besitzen, die in der Größenordnung der Entladungslänge liegt. Fließt beispielsweise ein Gasfluß von 100 l/min durch einen Ringspalt der Länge 100 mm und der Höhe 1 mm, resultiert eine Strömungsgeschwindigkeit $v_{\text{gas}} = 16,7 \text{ m/s}$. Die freie unbehandelte Flugstrecke der Volumenelemente sollte dann 3,3 mm betragen. Dies gibt den minimalen Wert für den Abstand der Scheiben 31, 32, ... an.

Patentansprüche

1. Verfahren zur plasmachemischen Zersetzung und/oder Vernichtung von Schadstoffen, insbesondere zur Abgasreinigung von Verbrennungsmotoren oder anderen mit fossilem Treibstoff betriebenen Maschinen, wobei die Schadstoffe als Schadstoffstrom eine mit dielektrisch behinderten ("stillen") Entladungen beaufschlagte Strecke in einem Reaktorvolumen durchlaufen, dadurch gekennzeichnet, daß die Entladung in einer räumlich weitestgehend periodischen Struktur betrieben wird, bei der das gesamte Reaktorvolumen in axialer Richtung in Entladungszonen einerseits und entladungsfreie Zonen andererseits unterteilt ist, wobei in den Entladungszonen lokale Feldüberhöhungen vorliegen, die zu einer Erhöhung der bei der Entladung wirksamen Elektronenenergie führen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Entladung im Frequenzbereich von etwa 1 kHz bis zu einigen 100 kHz erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch Auswahl der Entladungsfrequenz sichergestellt wird, daß hinreichend dicht liegende benachbarte Volumenelemente im Schadstoffstrom behandelt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch Auswahl der Entladungsfrequenz sichergestellt wird, daß ein in einem Zyklus einmal behandeltes Volumenelement des Schad-

stoffstromes hinreichend lange Zeit bekommt, um die durch die Entladung erzeugten Radikale weitestgehend abreagieren zu lassen.

5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß man die Radikale vollständig abreagieren läßt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einer vorgegebenen Strömungsgeschwindigkeit des Schadstoffstromes, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Strömungsgeschwindigkeit (v_{gas}) des Schadstoffstromes und der Entladungsfrequenz einerseits und der räumlichen Periodizität der Entladungsstruktur die Beziehungen

$$v_{\text{gas}} = d_k \cdot f \quad (1)$$

$$v_{\text{gas}} \approx x/200 \mu\text{s} \text{ gelten,} \quad (2)$$

mit d_k = Durchmesser des Plasmakanals, und x = Abstand zweier Entladungszonen, woraus die Entladungsfrequenz einerseits und die räumliche Periodizität andererseits ableitbar sind.

7. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder einem der Ansprüche 2 bis 6 mit einer Elektrodenanordnung für eine dielektrisch behinderte ("stillen") Entladung, die zwischen wenigstens einer ersten, dielektrisch beschichteten Elektrode und einer zweiten Elektrode als Gegenelektrode durch Anlegen einer genügend hohen Hochspannung vorgegebener Frequenz entsteht, dadurch gekennzeichnet, daß die Gegenelektrode (1', 10) in axialer Richtung Mittel (30, 40, 50) zur lokalen periodischen Feldüberhöhung aufweist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei eine zylindersymmetrische Anordnung mit einer hohlzylinderartigen, dielektrisch belegten Außenelektrode und eine zylinderförmige innere Elektrode als Gegenelektrode vorhanden ist, dadurch gekennzeichnet, daß die innere Elektrode (10) in axialer Richtung mit scharfkantigen Scheiben (31, 32, ...) besetzt ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei eine zylindersymmetrische Anordnung mit einer hohlzylinderartigen, dielektrisch belegten Außenelektrode und eine zylinderförmige innere Elektrode als Gegenelektrode vorhanden ist, dadurch gekennzeichnet, daß die innere Elektrode (10) in axialer Richtung mit einem fortlaufenden Band mit scharfen Kanten besetzt ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei eine zylindersymmetrische Anordnung mit einer hohlzylinderartigen, dielektrisch belegten Außenelektrode und eine zylinderförmige innere Elektrode als Gegenelektrode vorhanden ist, dadurch gekennzeichnet, daß auf der inneren Elektrode (10) in axialer Richtung metallische Borsten (41, 42, ...) in Richtung auf die hohlzylindrige Außenelektrode (2) angebracht sind.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die metallischen Borsten (41, 42, ...) in periodischer Anordnung (40) auf der inneren Elektrode (10) angebracht sind.

12. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei eine zylindersymmetrische Anordnung mit einer hohlzylinderartigen, dielektrisch belegten Außenelektrode und eine zylinderförmige innere Elektrode als Gegenelektrode vorhanden ist, dadurch gekennzeichnet, daß Spitzen zur Feldüberhöhung durch ein stacheldrahtartiges Gebilde (50; 51, 52, ...) realisiert

werden, das auf der inneren Elektrode (10) in axialer Richtung schraubenförmig aufgerollt ist.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung der erhöhten Elektronenenergien der Abstand (d) zwischen den Scheibenkanten (31, 32, ...), Borstenenden (41, 42, ...) oder der Spitzen (51, 52) und der dielektrischen Schicht () der Gegenelektrode () ein Abstand von 0,5 bis zu einigen Millimetern beträgt.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand 1 bis 3 mm beträgt.

15. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Verrundungsradius der Schneiden bei etwa 0,1 mm liegt.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der longitudinale Abstand (x) der Elemente (Scheiben, Borsten Spitzen od. dgl.) so gewählt ist, daß

$$x/v_{\text{Gas}} \approx n \cdot 200 \mu\text{s}$$

ist, wobei n eine natürliche Zahl zwischen 1 und 5 darstellt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

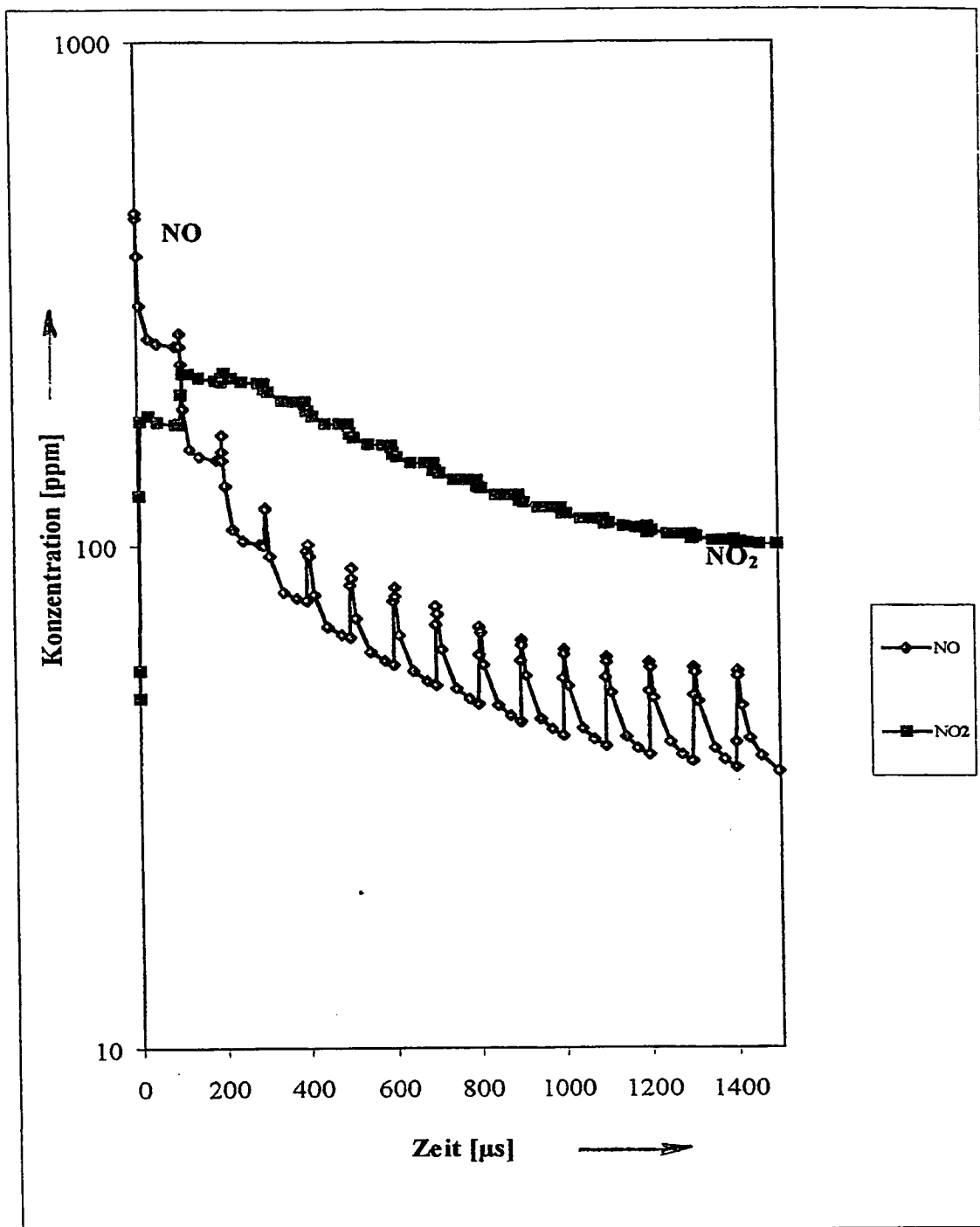


FIG 1

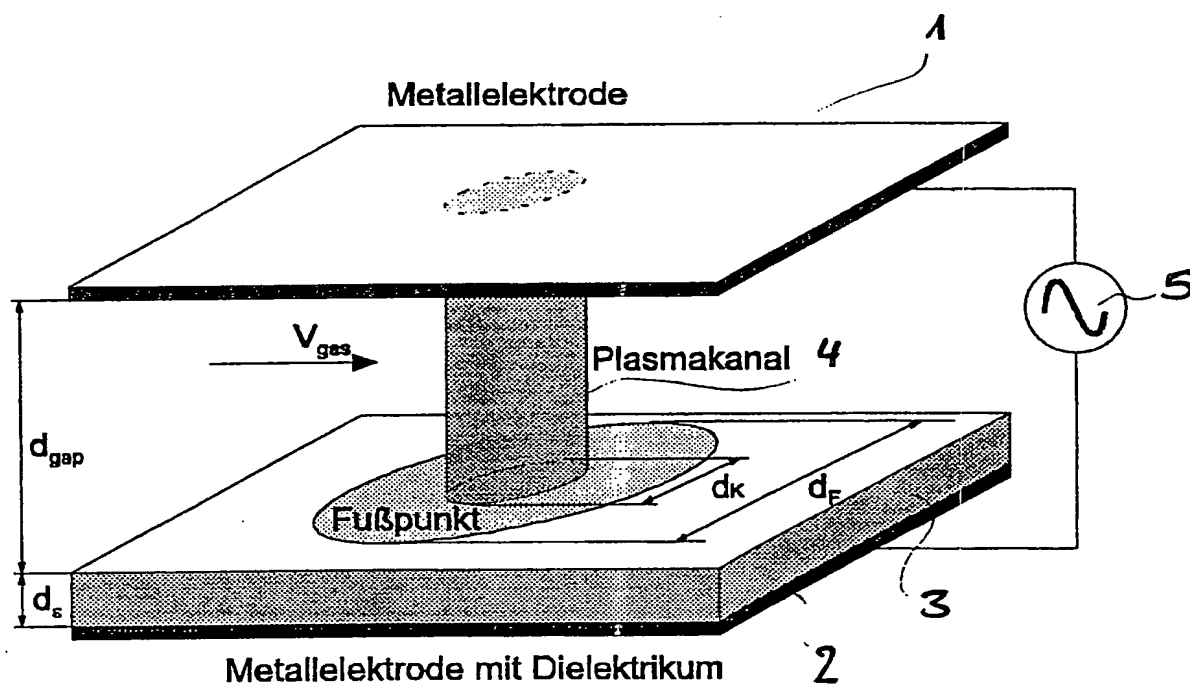


FIG 2

THIS PAGE BLANK (USPTO)

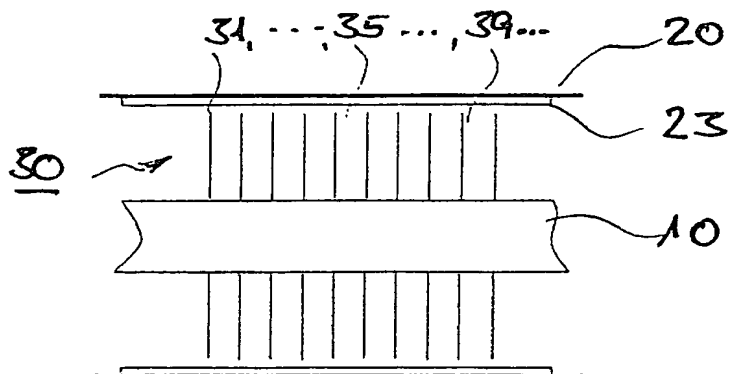


FIG 3

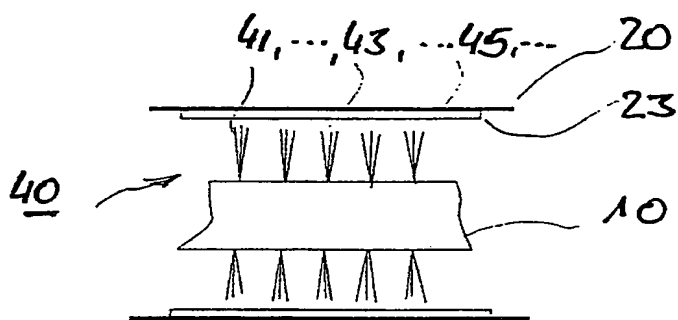


FIG 4

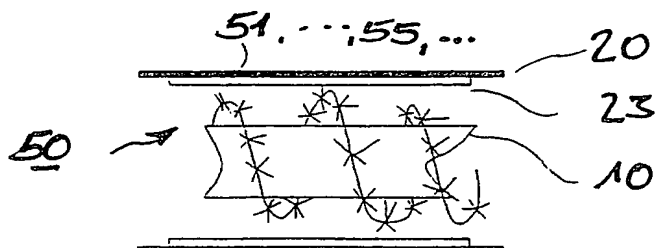


FIG 5

THIS PAGE BLANK (USPTO)